

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

OPTIMALIZACE TECHNOLOGIE 135 - GMAW S VYUŽITÍM
FUNKCE IAC

OPTIMIZATION 135 - GMAW TECHNOLOGY BY IAC
FUNCTION WELDING SOURCE

Student:

Luděk Fofůňka

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Luděk Fofonka**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Optimalizace technologie 135-GMAW s využitím funkce IAC**
Optimization 135-GMAW Technology by IAC Function Welding
Source

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te studii technologie 135-GMAW se zaměřením na robotické svařování.
2. Charakterizujte použité materiály a svařované konstrukční díly.
3. Navrhněte a realizujte experimentální program za účelem optimalizace technologie 135.
4. Proved'te vyhodnocení vybraných vlastností svarových spojů.
5. Definujte základní typy vad svarových spojů při daném typu svařování.
6. Proved'te diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
KOPŘIVA, R. *Technológia zvarania v ochranných plynoch metódou MIG/MAG*. ZEROSS, 1993.
ASNIS, A., GUTMAN, M. *Svařování ve směsi aktivních plynů*. SNTL 1988.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**


Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015





doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Vladislava Ochodka a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě: 18.5. 2015

Luděk Fofonka

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 18.5. 2015



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Luděk Fofonka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Polsko 699**56401, Žamberk**

Anotace bakalářské práce

FOFOŇKA, L. *Optimalizace technologie 135-GMAW s využitím funkce IAC*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 79 stran. Vedoucí práce: Ing. Vladislav Ochodek.

Bakalářská práce popisuje optimalizaci technologie svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu s využitím funkce inteligentního řízení oblouku IAC (Intelligent Arc Control). Cílem této bakalářské práce je zjištění limitů použitím funkce inteligentního řízení oblouku při použití robotického svařování, porovnání parametrů svařovaných vzorků s ověřením makroskopickou zkouškou a dosažení ideálních svařovacích parametrů.

Annotation of bachelor's thesis

FOFOŇKA, L. *Optimization 135-GMAW Technology by IAC Function Welding Source*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015, 79p. Thesis head: Ing. Vladislav Ochodek.

Bachelor's thesis describes the optimization technology of welding consumable electrode in a protective atmosphere of active gas using the intelligent arc control IAC (Intelligent Arc Control). The aim of this work is to determine the limits of the use of the intelligent control of the arc using robotic welding parameter comparison welded samples with verification macroscopic exam and achieving ideal welding parameters.



Obsah

1. Úvod	9
2. Princip technologie MAG –135	10
2.1 Svařovací zdroj Migatronic Sigma Galaxy 400	12
2.2 Průmyslový robot ABB IRB 2600 - 12/1, 85	15
3. Používané materiály ve svařování, svařitelnost ocelí	17
3.1 Ocel - S235JRG2	18
3.2 Ocel - S355K2G4	19
4. Základní typy vad svarových spojů při daném typu svařování	20
4.1 Vady ve svarech podle tvaru	20
4.2 Vady ve svarech podle polohy vad	20
4.3 Nejčastější vady ve svarových spojích	21
4.3.1 Póry a bubliny	21
4.3.2 Vměstky	21
4.3.3 Neprovařený kořen	21
4.3.4 Vruby, zápaly	21
4.3.5 Povrchové vady	22
5. Návrh a realizace experimentálního programu za účelem optimalizace technologie 135 ...	22
5.1 Svařování běžným zkratovým svařováním - ručně	23
5.2 Svařování metodou inteligentního řízení oblouku IAC - ručně	24
5.3 Svařování metodou inteligentního řízení oblouku IAC - roboticky	25
5.4 Makroskopická zkouška	26
5.5 Vyhodnocení makroskopické zkoušky	29
6. Vyhodnocení vybraných vlastností svarových spojů	33
7. Diskuse dosažených výsledků	34
8. Závěr	35
9. Seznam použité literatury	37
10. Přílohy	39

Seznam použitých značek a symbolů

Značení	Význam	Jednotka
MIG	Metal Inert Gas	[-]
MAG	Metal Activ Gas	[-]
GMAW	Gas Metal Arc Welding	[-]
135	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu - MAG	[-]
131	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu - MIG	[-]
S	třída	[-]
ČSN	Československá statní norma	[-]
EN	Evropská norma	[-]
IAC	Intelligent Arc Control	
ABB	Asea Brown Boveri	[-]
R_e, R_p	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
KV	nárazová práce	[J]
A_5	tažnost	[-]
HB	tvrdost	[-]
t	tloušťka	[mm]
C_{EV}	uhlíkový ekvivalent	[-]
DIN	Deutsche Industrie Norm	[-]
l	délka	[mm]
S	třída aplikace	[-]
IP 23	třída ochrany	[-]
C	Uhlík	[-]
Si	Křemík	[-]
Mn	Mangan	[-]
Cr	Chrom	[-]



Mo	Molybden	[-]
V	Vanad	[-]
Ti	Titan	[-]
O	Kyslík	[-]
N	Dusík	[-]
H	Vodík	[-]
P	Fosfor	[-]
S	Síra	[-]
Ar	Argon	[-]
CO ₂	Oxid uhličitý	[-]

1.Úvod

Svařování se řadí k dalším strojírenským technologiím jako je obrábění, tváření, povrchové úpravy a další technologie. Svařování nezaujímá největší objem mezi technologiemi, rozhodně však patří mezi strojírenské technologie, které zpracovávají největší objem kovových materiálů, jak tvářených, tak i materiálů litých. Zpracovává více než 26 % kovových materiálů. Svařování je závislé na znalostech z celé řady oborů, jako jsou matematika, fyzika, chemie, nauka o materiálu, fyzika kovů a další obory, z čehož plyne, že svařování je mezioborová technologie.

V současné době se od ručního svařování přechází na automatizované, mechanizované způsoby svařování včetně robotizovaného svařování s tím rozdílem, že požadavky na zařízení jsou jiné, než při svařování ručním způsobem. Přesto, že člověk dovede svařovací proces poměrně rychle korigovat, tak v porovnání s robotizovaným svařováním je možnost zvýšení rychlosti svařování až o 30 %. První technologií, která byla zrobotizována je právě svařování.

Výsledek při ručním svařování zcela závisí na schopnostech svářeče. To znamená, že každý svar je svým způsobem jedinečný originál, protože člověk podléhá náladám a únavě, která během pracovního dne narůstá. Srovnáním robotizovaného a ručního svařování vyplývá, že ruční svařování je méně efektivní. Roboty udržují vyšší kvalitu a ještě více zvyšují hospodárnost výrobního procesu.

Z toho plyne, že tato problematika není úplně jednoduchá a je nutné ji řešit s nárůstem plně robotizované výroby. Problematika adaptivního řízení co se týče náhlých změn geometrie spoje se neustále vyvíjí. Řešením může být aktivní vyhledávání ať už startovací pozice dotekem konce drátu, nebo hubice na referenční plochy svařence, nebo funkcí pro vyhledávání především koutových svarů v průběhu hoření svařovacího oblouku. Dalším způsobem může být optické navádění. Žádná z těchto metod však není zcela spolehlivá.



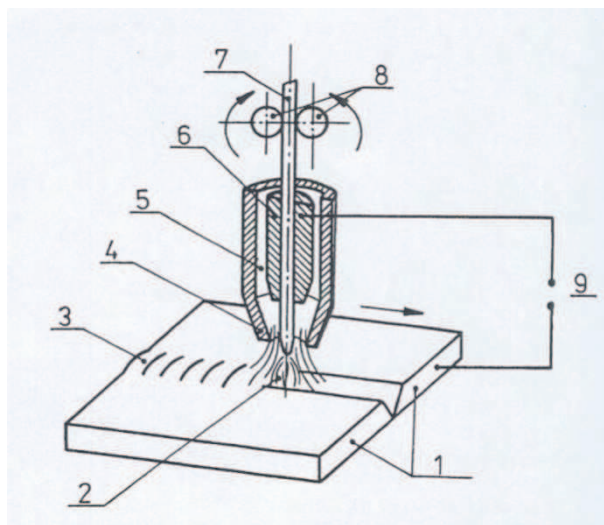
2. Princip technologie MAG –135

Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu - MAG (metoda 135) patří vedle svařování obalenou elektrodou v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu - MIG (metoda 131) získává na důležitosti vlivem růstu objemu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. Krom hliníku se metodou 131 svařují i vysoce legované oceli. Hlavními důvody rozšíření metody MIG/MAG jsou: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení a především významné výhody a charakteristiky uvedené metody svařování.

Svařování metodou MIG/MAG je založeno na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního, nebo aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Drát je podáván podávacími kladkami umístěnými v podavači, vlastním hořáku, nebo kombinací obou systémů z cívky o běžné hmotnosti 15 kg. Proudová hustota je u svařování MAG nejvyšší ze všech obloukových metod a dosahuje až $600 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ a svařovací proudy se pohybují od 30 A u svařování tenkých plechů drátem o průměru 0,6 - 0,8 mm, až do 800 A u vysokovýkonných mechanizovaných metod. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a ochranném plynu, přičemž běžný je zkratový pro tenké plechy a sprchový pro větší tloušťky plechů. U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek se při MAG svařování pohybuje v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100°C.

Díky vysokým proudům se svařovací rychlosti blíží hranici $150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ a rychlost kapek přenášených obloukem přesahuje $130 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ochranný plyn se volí podle druhu svařovaného materiálu, ovlivňuje však také přenos kapek v oblouku, rozstřík, rozsah chemických reakcí a teplotní poměry v oblouku.[1]

Princip svařování MIG/MAG



Obr. 1 Princip svařování tavící se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu - MIG/MAG.

1. svařovaný materiál; 2. elektrický oblouk; 3. svar; 4. plynová hubice; 5. ochranný plyn; 6. kontaktní průvlak; 7. přídavný drát; 8. podávací kladky; 9. zdroj proudu.

Nejširší uplatnění je v současnosti při ručním a mechanizovaném svařování nelegovaných, nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí, při použití směsného plynu argonu s oxidem uhličitým. Tato metoda svařování se vyznačuje těmito výhodami:

- svařování ve všech polohách od tloušťky materiálu 0,8 mm,
- minimální tvorba strusky,
- přímá vizuální kontrola oblouku a svarové lázně,
- vysoká efektivita, úspory nedopalků tzv. nekonečným drátem,
- snadný start oblouku bez nárazu svařovacího drátu do svaru,
- velmi dobrý profil svaru a hluboký závar,
- malá tepelně ovlivněná oblast především u vysokých rychlostí svařování,
- vysoká proudová hustota,
- vysoký výkon odtavení,
- široký proudový rozsah pro jeden průměr drátu,
- stabilní plynová ochrana v různých variantách umožňující diferencované typy přenosu kovu v oblouku a ovlivnění mechanických vlastností svarů,
- nízká pórovitost,
- malý nebo žádný rozstřík kovu elektrody,
- snadná aplikace metody u robotizovaných a mechanizovaných systémů svařování [1].

2.1 Svařovací zdroj Migatronic Sigma Galaxy 400

Popis svařovacího zdroje:

Svařovací stroje Sigma Galaxy jsou výsledkem vývoje v oboru technologie svařování. Tyto technicky vyspělé stroje, které byly vyvinuty ve spolupráci s vysokoškolskými odborníky i uživateli z celého světa a které se vyznačují svébytným průmyslovým designem, dokáží samy optimalizovat svůj provoz, a umožňují tak svářeči, aby se soustředil na odvedení dokonalé řemeslné práce.

Svařovací stroje Sigma Galaxy jsou vybaveny všemi osvědčenými funkcemi převzatými z řady Sigma2, které jsou rozšířeny o další inteligentní funkce dostupné prostřednictvím programovatelných tlačítek na ovládacím panelu. Svařování impulzní i běžnou metodou MIG/MAG, která je založena na nejnovějších poznatcích o fyzikálních vlastnostech elektrického oblouku, je podporováno třemi programovými sadami: Standard, Standard Plus a nově vyvinutou sadou IAC, která zahrnuje programy pro svařování nízkouhlíkových a nerezavějících ocelí. Svařovací stroje Sigma Galaxy jsou mimořádně vhodné pro robotizovaná svářečí pracoviště.[2]



Obr. 2 Svařovací stroje řady Sigma Galaxy jsou dostupné ve verzích C (kompaktní) nebo S (se snímatelným podavačem), ve výkonech 300A, 400A a 500A.[2]

Ochranný plyn

Úkolem ochranné atmosféry aktivního plynu je ochránit svařované místo proti vzdušné vlhkosti, a vytěsnit atmosférický vzduch plynem. Jako ochranná atmosféra se používá směs plynů Ferrolin C18; 80% Ar / 20% CO₂. [13]

Polarita

Stejnoseměrné připojení s nepřímou polaritou - svařovací hořák připojen na (+) pól a svařovaný materiál na (-) pól. [13]

Funkce "inteligentní řízení oblouku" IAC (Intelligent Arc Control)

Svařovací stroje řady Sigma Galaxy jsou vybaveny funkcí inteligentního řízení oblouku IAC, která umožňuje použití nového postupu při svařování plechů a provařování kořene svarů z nízkouhlíkových a nerezavějících ocelí. Výsledkem je podstatně nižší tepelný příkon a rovněž i nižší míra deformace materiálu při zachování jeho mechanických vlastností. To znamená i minimální rozstřík a snížené nároky na následné tepelné zpracování. [2]



Obr. 3 Kořenová vrstva v nízkouhlíkové oceli o tloušťce 5 mm provařená shora dolů za použití programu IAC. [2]



Obr. 4 Kořenová vrstva v nízkouhlíkové oceli o tloušťce 10 mm provařená shora dolů za použití programu IAC, vyplněná dvěma vrstvami shora dolů. [2]

Funkce inteligentního řízení oblouku IAC, kterou mohou být vybaveny stroje Sigma Galaxy 300 a 400, umožňuje použití inteligentního a adaptivního způsobu řízení postupu svařování krátkým obloukem, během kterého automaticky reaguje na veškeré změny v oblasti roztaveného svarového kovu. Výsledkem je naprosto stabilní a přesně zaměřený krátký oblouk, menší tepelně ovlivněná zóna svaru, menší míra deformace materiálu a nižší příkon. IAC zvyšuje rychlost svařování při svislém provařování kořenových vrstev prováděném směrem shora dolů. [2]



Obr. 5 Svislé provařování kořenové vrstvy prováděné shora za použití funkce IAC při pokládání potrubí dálkového vytápění.[2]

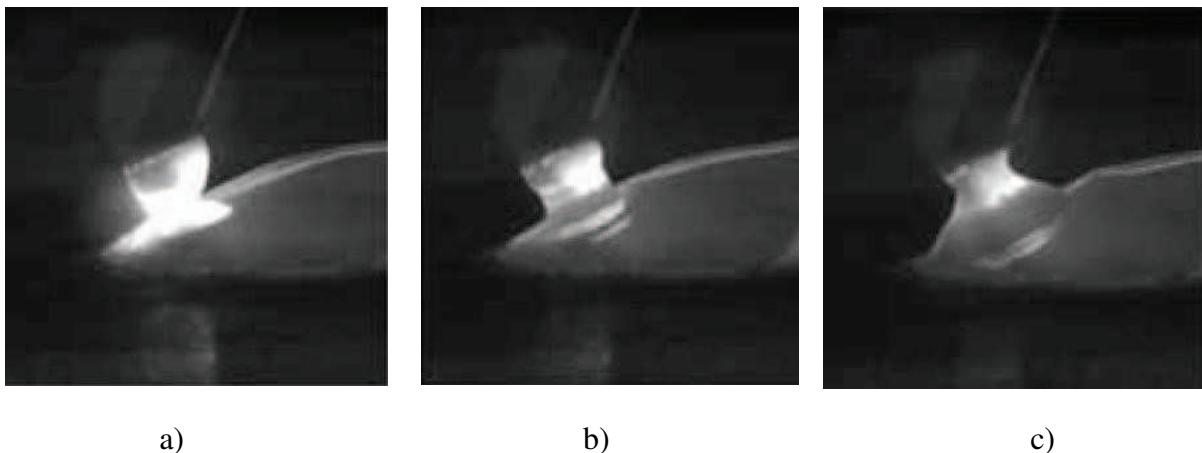


Obr. 6 Svařovací zdroj
Migatronic Sigma Galaxy 400.



Obr. 7 Svařovací zdroj
Migatronic Sigma Galaxy 400.

IAC zaznamenává každý jednotlivý svařovací cyklus a 50000krát za sekundu přizpůsobuje oblouk. Výkonný počítač, kterým je stroj Sigma Galaxy vybavený, průběžně předpovídá průběh svařovacího procesu v intervalu příštích několika milisekund, což umožňuje funkci IAC dle potřeby regulovat dodávané množství energie. Softwarové sady zahrnující funkci inteligentního řízení oblouku IAC jsou určeny pro svařování nízkouhlíkových a nerezavějících ocelí. [2]



Obr. 8 a); b); c) Výsledky laboratorních zkoušek prováděných v reálném čase prokazují, že funkce IAC umožňuje dosažení plné kontroly nad postupem svařování, a to i během oddělování jednotlivých kapek kovu. [2]

2.2 Průmyslový robot ABB IRB 2600 - 12/1, 85

ABB je jedna z předních světových společností působící v oblasti energetiky a automatizace. V České republice působí společnost ABB od roku 1992. V současné době má svoje centra ve výrobních závodech v Praze, Brně, Ostravě, Trutnově a Jablonci. Robotické svařování zaručuje bezchybnou a opakovatelnou kvalitu svarových kovových spojů, ideálně laserem řezaných dílů. Začlenění svařovacích robotů do výroby přináší technologické a především ekonomické výhody. Pomocí svařovacího pracoviště lze automatizovat výrobu velkých i malých sérií výrobků.

Provedení se dvěma pracovními polohovacími stoly (tzv. polohovadly) umožňuje kontinuální provoz svařování bez vedlejších časů. Hlavní obecnou výhodou robotického svařování je vyšší produktivita svařování ve srovnání s ručním svařováním.

Významná úspora doprovodných - obslužných časů svářeče (kontrola svarů, změna pozice svářeče vzhledem k jeho lepšímu držení ruky, nebo mezi jednotlivými svary apod.). Další významnou výhodou svařování na robotizovaných pracovištích je výrazně vyšší kvalita prováděných svarů a jejich kresba.

Popis procesu:

V okamžiku, kdy robot pracuje na prvním polohovadle, může na polohovadle druhém probíhat zakládání dílců do svařovacího přípravku. Přístup k polohovadlu, kde robot svařuje, je chráněn jednak bezpečnostním oplocením a jednak systémem světelných závor horizontálních a vertikálních. V případě, že dojde k rozpojení bezpečnostního okruhu spínačů vstupních dveří oplocení a náhlému přerušení paprsku závor, celé robotické pracoviště se zastaví. K nouzovému zastavení robotického pracoviště dále slouží TOTAL-STOP spínače umístěné na panelu na čelní straně řídicího systému. V případě, že robot na polohovadle svařuje, je vstup zastíněn výsuvnou zástěnou tak, aby nemohlo dojít k poškození zraku obsluhy záblesky od svařovacího oblouku.[3]



Obr. 9 Svařovací pracoviště 600L.



Obr. 10 Průmyslový robot ABB IRB 2600-12/1,85.

3. Používané materiály ve svařování, svařitelnost ocelí

Svařitelnost ocelí je komplexní charakteristika, vyjadřující vhodnost oceli vytvořit svarový spoj požadovaných mechanických, fyzikálních, chemických a technologických vlastností při určitých metalurgických, konstrukčních a technologických možnostech s cílem dosažení jeho požadované jakosti, spolehlivosti a životnosti. Metalurgické vlastnosti se zajišťují způsobem výroby oceli, chemickým složením, způsobem odlévání, tváření a tepelným zpracováním. Konstrukční požadavky se zajišťují pevnostními vlastnostmi materiálu, tloušťkou, tvarem svarového spoje, přípravou svarových ploch, tuhostí svarového spoje a přístupností ke svarovému spoji. [4]

Chemické složení oceli je jedním z hlavních vlivů, určujících svařitelnost ocelí. Jednotlivé chemické prvky ovlivňují svařitelnost materiálu následovně:

- **uhlík** (C) do obsahu uhlíku 0,25 hm.% jsou oceli vhodné ke svařování ;
- **křemík** (Si) je výhodný do obsahu 0,3 hm.%;
- **mangan** (Mn) zlepšuje svařitelnost oceli do obsahu 0,1 hm.%. [7]



3.1 Ocel - S235JRG2[5]

Charakteristika:

Materiál S235JRG2 je konstrukční ocel běžné kvality, která je vhodná ke svařování.

Použití:

Součásti strojů a konstrukce tavně svařované, dynamicky a staticky namáhané. Duté podélně svařované profily a kované součásti pro energetická zařízení, tlakové nádoby pracující s teplotou do 300 °C. Vtokové a výtokové prvky vodních turbín, vrata vodních zdymadel, svařované uzávěry, podvozky drážních vozidel. [8]

Tabulka 1 - Označení

Číslo materiálu: 1.0038	11 375	OCEL - S235JRG2
-------------------------	--------	-----------------

Tabulka 2 - Chemické složení [hm. %] v tavebním vzorku

C	Mn	P	S	N
max 0,17	max 1,40	max 0,045	max 0,045	max 0,009

Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti

Rozměr t, d [mm]		<3	3-16	16-40	40-100
Stav		tepelně nezpracovaný			
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min		235		225	215
Mez pevnosti R _m [MPa]		360-510	340-470		
Tažnost A ₅ [%]	podél min	21	26		24
	napříč min	19	24		22
Nárazová práce KV [J] min		-		27	
Tvrдость HB		-			
Rozměr t, d [mm]		100-150	150-200		200-250
Stav		tepelně nezpracovaný			
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min		195	185		175
Mez pevnosti R _m [MPa]		340-470	320-470		
Tažnost A ₅ [%]	podél min	22	21		
	napříč min	22	21		
Nárazová práce KV [J] min		27	23		



3.2 Ocel - S355K2G4[5]

Charakteristika:

Materiál S355K2G4 je konstrukční nelegovaná jemnozrnná ocel pro teploty pod -20°C vhodná ke svařování.

Použití:

Součásti strojů a zařízení pracující v místech při teplotách 400°C až 500°C . Ocelové konstrukce pracující za zvýšených i snížených teplot dynamicky namáhané. [8]

Tabulka 4 - Označení

Číslo materiálu: 1.0596	11 503	OCEL - S355K2G4
-------------------------	--------	-----------------

Tabulka 5 - Chemické složení [hm. %] v tavebním vzorku

C	Si	Mn	P	S
max 0,20	max 0,55	max 1,60	max 0,035	max 0,035

Tabulka 6 - Mechanické vlastnosti

Rozměr t, d [mm]		<3	3-16	16-40	40-63	63-80	800-100
Stav		tepelně nezpracovaný					
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min		355		345	335	325	315
Mez pevnosti R _m [MPa]		510-680	490-630				
Tažnost A ₅ [%]	podél min	22			21	20	
	napříč min	20			19	18	
Nárazová práce KV [J] min		40					
Tvrдость HB		-					
Rozměr t, d [mm]		100-150		150-200		200-250	
Stav		tepelně nezpracovaný					
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min		295		285		275	
Mez pevnosti R _m [MPa]		470-630		450-630			
Tažnost A ₅ [%]	podél min	18		17			
	napříč min	18		17			

4. Základní typy vad svarových spojů při daném typu svařování

Vady ve svarech se považují za nebezpečné koncentrátory napětí, které zvláště nepříznivě ovlivňují velikost meze únavy. Vady se mohou za určitých podmínek stát důsledkem lomu a způsobit vyřazení součásti nebo zařízení z provozu. K použití v provozu lze připustit pouze svarové spoje bez vad nebo s takovými vadami, které při známém provozním zatížení neohrozí bezpečnost svarových konstrukcí.

Vady ve svarových spojih dělíme podle tvaru (geometrie) a podle polohy ve svaru.

4.1 Vady ve svarech podle tvaru

a) bodové

- mikropóry, malé sférické vměstky (např. silikáty)

b) plošné

- trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary, nespojitosti návaru se základním materiálem

c) prostorové

- plynové dutiny (bubliny, póry), vměstky (struskové, tavidlové, oxidické, kovové), staženiny (mezidendritické, kráterové)

4.2 Vady ve svarech podle polohy vad

a) povrchové

- trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary, neprovařený kořen, póry

b) vnitřní

- plynové dutiny, staženiny, vměstky, studený spoj (mezi vrstvami housenek, ale i mezi základním materiálem a svarovým kovem), neprůvar v kořeni (u oboustranného nebo koutového svaru). [4]

4.3 Nejčastější vady ve svarových spojích

4.3.1 Póry a bubliny

Bubliny ve svarech vznikají vylučováním plynů, které jsou obsaženy ve svarové lázni při chladnutí. V případě, že svarový kov chladne rychle krystalizující kov klade odpor unikajícím plynům a ty zůstávají ve svaru v podobě bublin a pórů. Plyny ve svarové lázni mohou vznikat z důvodu vlhkosti přídavného materiálu, vlivem okolní atmosféry a dezoxidačních procesů ve svarovém kovu a z nečistot. Další možné příčiny jsou příliš dlouhý oblouk, vysoká rychlost svařování nebo rychlé tuhnutí lázně v důsledku nízkého svařovacího proudu a vysoké rychlosti svařování.

Pokud se bubliny vyskytují ojediněle, jsou jen málo nebezpečné. Naopak, pokud se vyskytují shluky plynových bublin jsou škodlivé a z hlediska kvality svaru nepřijatelné. Je-li velký počet vytvořených bublin blízko sebe, je nebezpečí jejich propojení lomovou plochou. Důkladným vysušením přídavných materiálů a předehřevem svařovaného materiálu snížíme výskyt bublin ve svarovém spoji.

4.3.2 Vměstky

Jsou nejčastějšími vadami ve svarových spojích. Rozdělují se na struskové, oxidické a kovové. Mají ostré okraje a na rozdíl od bublin jsou značně nebezpečné, zvláště u svarů namáhaných na únavu.

4.3.3 Neprovařený kořen

Neprovařený kořen vzniká tehdy, když svarové plochy v kořenu svaru nejsou nataveny a nespojí se svarovým kovem. Neprovařený kořen zeslabuje nosný průřez svaru a při únavovém namáhání působí jako vrub.

4.3.4 Vruby, zápaly

Vruby a zápaly jsou povrchové vady a vyskytují se především na okrajích svarové housenky. Při únavovém namáhání se projevují jako velmi nebezpečné vady, ze kterých vznikají a šíří se trhliny a zmenšují průřez svaru. Mezi vruby patří obdobně jako neprovařený kořen také studený spoj, který je také nebezpečným typem vady ve svarovém spoji.[4]



4.3.5 Povrchové vady

Vady ve svarových spojích výrazně snižují kvalitu spoje a můžou vést k úplné deformaci a zničení zařízení. Podle polohy se rozdělují na vady vnitřní a vnější. Mezi nejčastější vady patří: - trhliny, vměstky, póry a bubliny, neprovařený kořen, studený spoj, krápníky, přesazený kořen, vruby a zápaly. [7]

5. Návrh a realizace experimentálního programu za účelem optimalizace technologie 135

V bakalářské práci je zpracována optimalizace technologie 135 - GMAW s využitím funkce IAC. V praktické části práce byly zhotoveny zkušební svarové spoje s různými tloušťkami materiálů a svarových mezer.

V návrhu a realizaci experimentálního programu porovnávám svařování technologií 135, a to ve třech metodách:

- svařování metodou inteligentního řízení oblouku IAC - ručně,
- svařování běžným zkratovým svařováním - ručně,
- svařování metodou inteligentního řízení oblouku IAC - roboticky.

Každá metoda obsahuje 9 svarových vzorků, tedy celkově bylo získáno 27 svarových vzorků v provedení:

- typ svaru: tupý
- poloha svaru: PG, svislá dolů
- rozměr plechu 100 x 300 [mm]

Svarové vzorky byly následně oříznuty v ustálené části svaru na požadovaný rozměr (80mm x 20mm x tloušťka materiálu). Na připravených vzorcích byla provedena makroskopická zkouška svarů v laboratoři. Vzhledem k velkému počtu svarových vzorků se makroskopická zkouška provedla pouze na svarových vzorcích zrealizovaných svařováním metodou inteligentního řízení oblouku IAC - roboticky, tj. všech 9 vzorků a svařováním metodou inteligentního řízení oblouku IAC - ručně. U ruční metody se makroskopická zkouška provedla na vzorcích 5 až 9. Snímky makroskopické zkoušky jsou zobrazeny v příloze.

Svařovací parametry, svarová mezera, poloha svařování, tloušťka plechu, rychlost drátu, rychlost svařování, typ svaru, průměr drátu. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách 7, 8, 9.

5.1 Svařování běžným zkratovým svařováním - ručně

Metodou běžným zkratovým svařováním se nepodařilo docílit optimálního svaření navržených vzorků. Projevila se nestabilita oblouku a nepravidelnost svarové housenky.

Tabulka 7 - Svařovací parametry

Číslo svaru	Napětí [V]	Proud [A]	Mezera [mm]	Poloha	Tloušťka plechu [mm]	Rychlost drátu [m/min]	Typ svaru	Ø drátu [mm]
1	16,3	70	0	PG	1	2,5	tupý	1
2	15,9	70	5	PG	2	2,5	tupý	1
3	14,6	50	10	PG	2	2,5	tupý	1
4	15,9	70	5	PG	3	2,5	tupý	1
5	15,5	60	10	PG	3	2,5	tupý	1
6	16,6	90	5	PG	4	2,5	tupý	1
7	15,5	60	10	PG	4	2,5	tupý	1
8	16,1 - kořen 17 - krycí svar	75 - kořen 100 - krycí svar	5 (V - zbrošená plocha)	PG	5	2,5	tupý	1
9	16,3	80	10	PG	5	2,5	tupý	1

Svar č. 8 (běžné zkratové svařování - ručně)



Obr. 11 Svarová housenka



Obr. 12 Kořen svaru

5.2 Svařování metodou inteligentního řízení oblouku IAC - ručně

Metodou inteligentního řízení oblouku IAC - ručně bylo docíleno svaření navržené svarové mezery. Při svařování mezer velkých až 10 mm je svařování obtížné a je nutné, aby jej prováděl kvalifikovaný svářeč.

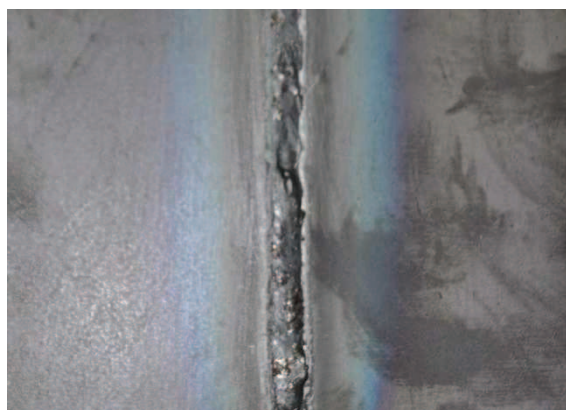
Tabulka 8 - Svařovací parametry

Číslo svaru	Napětí [V]	Proud [A]	Mezera [mm]	Poloha	Tloušťka plechu [mm]	Rychlost drátu [m/min]	Typ svaru	Ø drátu [mm]
1	15,6	70	0	PG	1	3	tupý	1
2	14,7	47	5	PG	2	2	tupý	1
3	15,1	55	10	PG	2	2,3	tupý	1
4	14,9	50	5	PG	3	2,1	tupý	1
5	14,7	53	10	PG	3	2,3	tupý	1
6	15,4	98	5	PG	4	3,9	tupý	1
7	14,5	60	10	PG	4	2,5	tupý	1
8	15,5 - kořen 15,5 - krycí svar	60 - kořen 60 - krycí svar	5 (V - zbroušená plocha)	PG	5	2,8	tupý	1
9	14,3	65	10	PG	5	2,8	tupý	1

Svar č. 8 (metoda IAC - ručně)



Obr. 13 Svarová housenka



Obr. 14 Kořen svaru

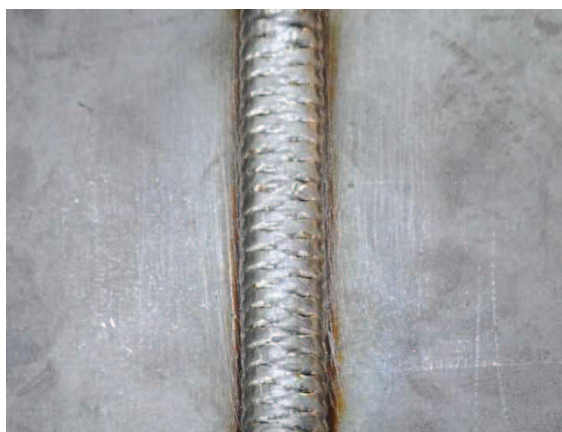
5.3 Svařování metodou inteligentního řízení oblouku IAC - roboticky

Metodou inteligentního řízení oblouku IAC - roboticky se podařilo odladit svařovací parametry tak, aby při procesu svařování ve svarech nevznikaly žádné vady.

Tabulka 9 - Svařovací parametry

Číslo svaru	Napětí [V]	Proud [A]	Mezera [mm]	Poloha	Tloušťka plechu [mm]	Rychlost drátu [m/min]	Typ svaru	Ø drátu [mm]	Rychlost svařování [mm/s]
1	15,9	90	0	PG	1	3,7	tupý	1	11
2	14,7	50	5	PG	2	2,1	tupý	1	1,2
3	15,1	55	2,5	PG	2	2,3	tupý	1	2
4	15,6	55	5	PG	3	2,3	tupý	1	1,4
5	15,9	95	2,5	PG	3	3,8	tupý	1	3,2
6	15-kořen 15-krycí svar	75-kořen 75-krycí svar	5 (V-zbroušená plocha)	PG	4	3,2-kořen 3,2-krycí svar	tupý	1	1,9-kořen 1,5-krycí svar
7	15	75	8	PG	4	3,2	tupý	1	1,1
8	15-kořen 15-krycí svar	75 - kořen 75-krycí svar	5 (V - zbroušená plocha)	PG	5	3,2-kořen 3,2-krycí svar	tupý	1	2-kořen 1,5-krycí svar
9	15	80	8	PG	5	3,3	tupý	1	2

Svar č. 8 (metoda IAC - roboticky)



Obr. 15 Svarová housenka



Obr. 16 Kořen svaru

5.4 Makroskopická zkouška

Účel makroskopické zkoušky spočívá v pozorování vzorku ve skutečné velikosti nebo při zvětšení maximálně 30krát. Svarové spoje se po broušení, leštění a leptání povrchu používají pro hodnocení svaru, způsobu kladení svarových vrstev, tvaru a šířky. Zkušební vzorek se prohlíží na příčném řezu, který obsahuje svarový kov, tepelně ovlivněnou oblast (TOO) a základní materiál. [11]

Mechanická preparace

Nejběžnější metodou úpravy metalografických vzorků pro kontrolu pod mikroskopem je mechanická preparace (úprava) na metalografickém brousícím zařízení. Brusné kotouče se postupně používají v jemnějších zrnitostech pro broušení tak dlouho, dokud se nezíská požadovaný povrch. Mechanická preparace je rozdělena na dvě části: broušení a leštění.

Broušení

Broušením se vytvoří rovinný povrch s co nejmenším poškozením, které se odstraní během leštění. Broušení se dělí na dva procesy: rovinné a jemné broušení. **Rovinné broušení** zaručuje, že povrch všech vzorků je podobný, oproti jejich předchozímu zpracování. **Jemné broušení** vytvoří povrch s malou deformací, která se odstraní během leštění.

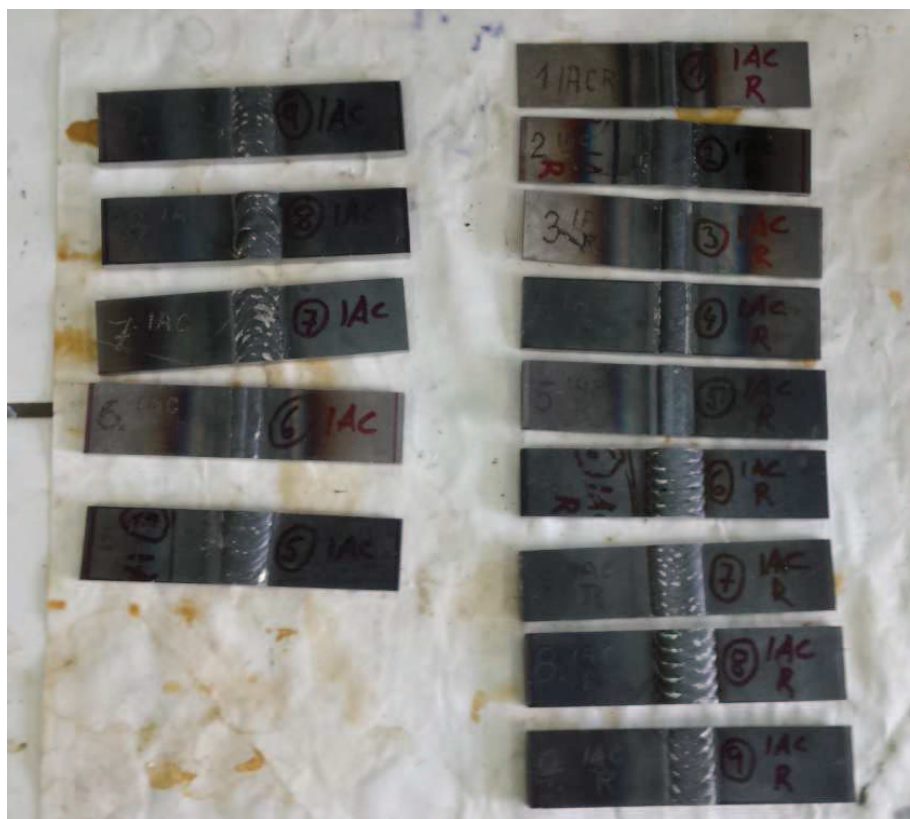
Leštění

Leštění odstraňuje povrchová poškození způsobená předchozím krokem, tj. broušením. Leštění se dělí na dva procesy: leštění diamantem a oxidační leštění. **Leštění diamantem** se používá z důvodu nejrychlejšího úběru materiálu a zaručuje velmi dobrou rovinnost povrchu vzorku. Díky své tvrdosti se diamant může použít téměř pro všechny materiály. **Oxidační leštění** se používá pro získání požadované jakosti povrchu. K tomu se používá leštění koloidním kyslíčnickem křemíku. [12]

Metalografické brousící zařízení



Obr. 17 Metalografické brousící zařízení Struers TergaForce-5.



Obr. 18 Obroušené vzorky připravené na leptání kyselinou.

Leptání

Vykreslení profilu svaru na příčném řezu spočívá v leptání (potírání) plochy 10% vodním roztokem kyseliny dusičné (HNO_3). Po naleptání jsou vzorky opláchnuty vodou a lihem a osušeny stlačeným vzduchem.

Stereomikroskop OLYMPUS SZX 7

Detaily vzorků byly dokumentovány na stereomikroskopu OLYMPUS SZX 7.



Obr. 19 Stereomikroskop OLYMPUS SZX 7. [10]

5.5 Vyhodnocení makroskopické zkoušky

Makroskopická zkouška byla provedena na svarových vzorcích pořízených svařovací metodou IAC - ručně (vzorky 5 až 9) a IAC - roboticky (vzorky 1 až 9). Výsledek makroskopické zkoušky, která byla provedena na svarových vzorcích pořízených metodou IAC - ručně, ukázal přítomnost pórů a studených spojů. Na následujících snímcích je zvýrazněna oblast, kde se vada vyskytla. Vady se objevily ve svarech č. 5, 6, 7, 9.



Obr. 20 Svar č. 5 (vada vlevo: pór; vada vpravo: studený spoj) IAC - ručně



Obr. 21 Svar č. 6 (studený spoj) IAC - ručně



Obr. 22 Svar č. 7 (póry) IAC - ručně



Obr. 23 Svar č. 9 (pór) IAC - ručně

Ve svarech pořízených metodou IAC - roboticky se neobjevily žádné vady. Převýšení svaru se na všech svarových vzorcích pohybuje v rozmezí od 0,45 mm do 2 mm. Nejlepší svary, které byly vytvořeny, jsou z řady svarových vzorků svařovaných metodou IAC - roboticky. Konkrétně se jedná o svary číslo 2, 4, 6, 8.

Nejlepší svary, které byly vytvořeny:



Obr. 24 Svar č. 2 (IAC - roboticky)



Obr. 25 Svar č. 4 (IAC - roboticky)



Obr. 26 Svar č. 6 (IAC - roboticky)

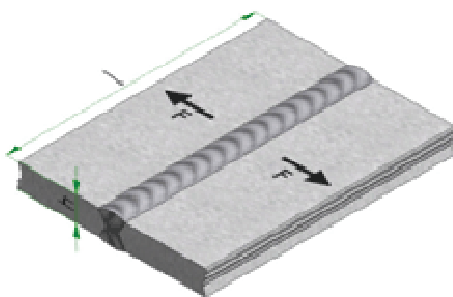


Obr. 27 Svar č. 8 (IAC - roboticky)

6. Vyhodnocení vybraných vlastností svarových spojů

Tupé svarové spoje

Tupé svary jsou nejvhodnějším typem svarů. Používají se především pro konstrukce a strojní součásti namáhané dynamicky. U tupých svarů je zachován silový tok. Výrazného snížení vrubového účinku se dosáhne obrobením převýšené svarové housenky na úroveň základního materiálu. Tupé spoje vzniknou svařením dvou dílů, které se přikládají v poloze na tupo k sobě, za použití přídavného materiálu. Při větších tloušťkách materiálu je nutné svarové plochy upravit pro svar. U tupých svarů je třeba dbát na otupení, dodržení mezery a úhlu svarové plochy. [7]



Obr. 28 Tupý svar[6]

Diskuse výsledků provedených zkoušek

Svarové vzorky, které jsou výsledkem navrženého a zrealizovaného experimentu optimalizace technologie 135 - GMAW s použitím funkce IAC, byly podrobeny vizuální zkoušce. Podařilo se zrealizovat všech 27 svarových vzorků již zmíněnými svařovacími metodami. Porovnáním a zjištěním výrazných kvalitativních rozdílů mezi použitými třemi navrženými metodami a také makroskopickou zkouškou bylo zjištěno, že nejkvalitnější svarové spoje vznikly při robotickém svařování, tj. svařováním metodou inteligentního řízení oblouku IAC - roboticky.

7. Diskuse dosažených výsledků

Dle předpokladů se při metodě běžným zkratovým svařováním nepodařilo docílit optimálního svařování větších svarových mezer. Experiment zkratovým svařováním potvrdil nestabilitu oblouku a svarového kovu.

Metodou inteligentního řízení oblouku IAC - ručně bylo možné docílit svařování velkých mezer (až 10 mm). Při svarových mezerách větších než 5 mm je svařování obtížnější a je nezbytně nutné, aby svářeč danou technologií dobře ovládal. Při zkouškách, respektive při rozřezání vzorků svařovaných metodou inteligentního řízení oblouku IAC - ručně na požadovaný rozměr, byly u některých vzorků na příčném řezu vidět vady pouhým okem a to v podobě bublin ve svaru. Tyto vady pravděpodobně vznikly vylučováním plynů, které jsou obsaženy ve svarové lázni při chladnutí, špatné rychlosti svařování nebo vlivem mastnoty a nečistot na základním materiálu.

Na svarových vzorcích 5 až 9 svařovaných metodou IAC - ručně, na kterých byla provedena makroskopická zkouška, se projeví vady, a to ve formě pórů, neprovařeného kořene a špatného napojení při přerušení svařování. To jsou jevy, které se při experimentu a odladování parametrů často vyskytovaly a jsou znázorněny na fotografiích v příloze. Výhodou a zároveň i nevýhodou ručního svařování je možnost okamžité reakce svářeče na průběh svařování a možnost korigovat pohyb během svařování. Tímto způsobem svářeč může docílit kvalitního svaru. Zároveň ale také může vést k vytvoření vadného svarového spoje, což se projeví i v tomto experimentu.

Svařováním metodou inteligentního řízení oblouku IAC - roboticky se podařilo po sérii testování dojít ke vhodným svařovacím parametrům, tj. napětí, proud, pohyb robota (posuv, rozkmit), při kterých nedochází k žádným vadám. Na vzorcích, respektive na snímcích pořízených při makroskopické zkoušce, je vidět, že se na řezu svaru neprojevují žádné vady. Svary byly provařené a bez pórů. Dále je potřeba odladit napojení svarových housenek, i když přerušení a jeho napojení se zpravidla neprovádí. Parametry získané tímto experimentem se nyní používají při svařování dílů, u kterých vznikají větší mezery při zakládání do přípravku a není možné je eliminovat.

8. Závěr

Optimalizace technologie svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu s využitím funkce inteligentního řízení oblouku spočívala v seznámení se s metodou během ručního svařování, nastavování a hledání vhodných parametrů. Zkratové svařování sloužilo pro porovnání IAC s konvenčním svařováním. U robotického svařování jsme již vycházeli ze zkušeností a parametrů ručního svařování IAC a dále jsme parametry přizpůsobovali dané technologii.

Metodou běžným zkratovým svařováním se nám nepodařilo zcela uspokojivě dosáhnout optimálního svaření navržených svarových vzorků. Po vizuální kontrole byla patrná nepravidelnost a špatná kresba svarové housenky a další vady.

Svařováním metodou inteligentního řízení oblouku IAC - ručně se podařilo docílit svaření navržených svarových vzorků se svarovou mezerou až 10 mm. Svařovací proces je obtížnější a je nutné, aby ho prováděl zkušený svářeč. Na některých vzorcích byly na příčném řezu vidět vady ve formě bublin a pórů.

Poslední navrženou metodou svařování inteligentním řízením oblouku IAC - roboticky se podařilo odladit svařovací parametry, při jejichž použití ve svarech nevznikají žádné vady. Tyto parametry se nyní používají při svařování na robotickém pracovišti, kde se celý experiment realizoval.



Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vladislavu Ochodkovi za odborný dohled. Zaměstnancům firmy GAF s.r.o. v Žamberku panu Ing. Davidu Rosenbergerovi, IWE, Janu Javůrkovi a Liboru Exlerovi za poskytnutí informací z praxe a panu Augustinu Domínovi z firmy Migatronik CZ a.s. za rady odledně svařovacího zdroje Migatronik Sigma Galaxy 400, Mgr. Olze Kšicové za poskytnuté rady při úpravě práce. A dále děkuji své rodině za podporu během celého studia.

9. Seznam použité literatury

- [1] KANDUS, Bohumil a KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [2] Migatronic: Sigma Galaxy 400. [online]. [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: <http://www.migatronic.com/cs-cz/product%20finder/machines/process/mig-mag/sigma%20galaxy>
- [3] Průmyslový robot ABB: IRB 2600. [online]. [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: <http://www.abb.com/product/seitp327/3ca81ecf51145e7cc12577e600313142.aspx?tabKey=2>
- [4] PILOUS, Václav. *Materiály a jejich chování při svařování: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Plzeň, 2009.
- [5] Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty. [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.dashofer.cz/softwarey-lexikon-kovu-se-zahranicnimi-ekvivalenty-productlkv/>
- [6] Spoje ocelových konstrukcí. [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://ocel.wz.cz/index.html>
- [7] MAJER, Lubomír. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 1999, 249 s. ISBN 80-857-7170-5.
- [8] FEROMAT: Hutní a spojovací materiál [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
- [9] U.S. STEEL KOŠICE, s.r.o.: A Subsidiary of United States Steel [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.usske.sk/products/cat-s/hot-roll/structural/general.html#mechanical>
- [10] PROMICRA [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.promicra.cz/produkty-pro-szm1.php>



- [11] *KONSTRUKCE: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>
- [12] *STRUERS: Ensuring Certainty* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.struers.cz/default.asp?top_id=10
- [13] *ToolsComp* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.toolscomp.cz/technologie/pohled-do-technologie-svarovani-mig-mag/>



10. Přílohy